



RECD 10 NOV 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 41 497.1

Anmeldetag: 07. September 2002

Anmelder/Inhaber: AUDI AG,
Ingolstadt/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Steuerung des Magerbetriebs
einer einen Stickoxid-Speicherkatalysator
aufweisenden Brennkraftmaschine, insbesondere
eines Kraftfahrzeuges

IPC: F 02 D, F 01 N

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 16. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust
Faust

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Beschreibung

5

Verfahren zur Steuerung des Magerbetriebs einer einen Stickoxid-Speicher-katalysator aufweisenden Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeuges

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung des Magerbetriebs einer einen Stickoxid-Speicher-katalysator aufweisenden Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeuges nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

15

20

25

30

In der heutigen Fahrzeugtechnik werden Ottomotoren als Brennkraftmaschinen mit einer Benzin-Direkteinspritzung anstatt einer konventionellen Saugrohrein-spritzung bevorzugt, da derartige Brennkraftmaschinen gegenüber den her-kömmlichen Ottomotoren deutlich mehr Dynamik aufweisen, bezüglich Dreh-moment und Leistung besser sind und gleichzeitig eine Verbrauchsenkung um bis zu 15% ermöglichen. Möglich macht dies vor allem eine sog. Schichtladung im Teillastbereich, bei der nur im Bereich der Zündkerze ein zündfähiges Gemisch benötigt wird, während der übrige Brennraum mit Luft befüllt wird. Dadurch kann der Motor entdrosselt gefahren werden, was zu reduzierten Ladungswechseln führt. Zusätzlich profitiert der Benzin-Direkteinspritzer von den reduzierten Wärmeverlusten, da die Luftschichten um die Gemischwolke herum zum Zylinder und zum Zylinderkopf hin isolieren. Da herkömmliche Brennkraftmaschinen, die nach dem Saugrohrprinzip arbeiten, bei einem der-artigen hohen Luftüberschuss, wie er bei der Benzin-Direkteinspritzung vor-liegt, nicht mehr zündfähig sind, wird bei diesem Schichtlademodus das Kraft-stoff-Gemisch um die zentral im Brennraum positionierte Zündkerze konzent-

riert, während sich in den Randbereichen des Brennraums reine Luft befindet. Um das Kraftstoff-Gemisch um die zentrale im Brennraum positionierte Zündkerze herumzentrieren zu können, ist eine gezielte Luftströmung im Brennraum erforderlich, eine sog. Tumbleströmung. Dazu wird im Brennraum eine intensive, walzenförmige Strömung ausgebildet und der Kraftstoff erst im letzten Drittel der Kolbenaufwärtsbewegung eingespritzt. Durch die Kombination von gezielter Luftströmung und spezieller Geometrie des Kolbens, der z. B. über eine ausgeprägte Kraftstoff- und Strömungsmulde verfügt, wird der besonders fein zerstäubte Kraftstoff in einem sog. „Gemischballen“ optimal um die Zündkerze konzentriert und sicher entzündet. Für die jeweils optimale Anpassung der Einspritzparameter (Einspritzzeitpunkt, Kraftstoffdruck) sorgt die Motorsteuerung.

Derartige Brennkraftmaschinen können daher entsprechend lange im Magerbetrieb betrieben werden, was sich, wie dies oben bereits dargelegt worden ist, positiv auf den Kraftstoffverbrauch insgesamt auswirkt. Dieser Magerbetrieb bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass die Stickoxide (NOx) im mageren Abgas vom 3-Wege-Katalysator nicht reduziert werden können. Um die Stickoxid-Emissionen im Rahmen vorgeschriebener Grenzen, z. B. des Euro-IV-Grenzwertes zu halten, werden in Verbindung mit derartigen Brennkraftmaschinen regelmäßig Stickoxid-Speicherkatalysatoren eingesetzt. Diese Stickoxid-Speicherkatalysatoren werden so betrieben, dass die von der Brennkraftmaschine erzeugten Stickoxide in einer ersten Betriebsphase als Magerbetriebsphase in den Stickoxid-Speicherkatalysator eingespeichert werden. Diese erste Betriebsphase oder Magerbetriebsphase des Stickoxid-Speicherkatalysators wird auch als Einspeicherphase bezeichnet. Mit zunehmender Dauer der Einspeicherphase nimmt der Wirkungsgrad des Stickoxid-Speicherkatalysators ab, was zu einem Anstieg der Stickoxid-Emissionen hinter dem Stickoxid-Speicherkatalysator führt. Die Ursache für die Abnahme des Wirkungsgrades liegt in der Zunahme des Stickoxid-Füllstandes des Stickoxid-Speicherkatalysators. Der Anstieg der Stickoxid-Emissionen hinter dem Stick-

oxid-Speicher-katalysator kann überwacht und nach Überschreiten eines vorgebbaren Schwellenwertes eine zweite Betriebsphase des Stickoxid-Speicher-katalysators, eine sog. Ausspeicherphase oder Entladephase, eingeleitet werden. Während dieser zweiten Betriebsphase wird im Abgas der Brennkraftmaschine ein Reduktionsmittel hinzugegeben, das eingespeicherte Stickoxide zu Stickstoff und Sauerstoff reduziert. Als Reduktionsmittel werden regelmäßig Kohlenwasserstoff (HC) und/oder Kohlenmonoxid (CO) verwendet, die im Abgas einfach durch eine fette Einstellung des Kraftstoff-/Luftgemisches erzeugt werden können. Gegen Ende der Entladephase ist ein Grossteil des eingespeicherten Stickoxids reduziert und immer weniger des Reduktionsmittels trifft auf Stickoxid, das es zu Sauerstoff und Stickstoff reduzieren kann. Deshalb steigt gegen Ende der Entladephase der Anteil an Reduktionsmittel in dem Abgas hinter dem Stickoxid-Speicher-katalysator an. Durch eine entsprechende Analyse des Abgases hinter dem Stickoxid-Speicher-katalysator mittels z. B. einem Sauerstoff-Sensor, kann dann das Ende der Entladephase eingeleitet werden und wieder auf die Magerbetriebsphase umgeschaltet werden. Bei den bekannten Stickoxid-Speicher-katalysatoren wird dieses Umschalten in zeitlichen Abständen von z. B. 30 bis 60 Sekunden durchgeführt, wobei die Regeneration, d. h. die Entladephase, ca. 2 bis 4 Sekunden dauert.

Problematisch ist jedoch, dass bei den Stickoxid-Speicher-katalysatoren mit zunehmender Lebensdauer die Speicherfähigkeit für Stickoxide abnimmt. Denn vor allem der in den Kraftstoffen enthaltene Schwefel führt zu einer Speicher-katalysator-Vergiftung, d. h. zu einer dauerhaften Einlagerung des Schwefels im Speicher-katalysator, die die Speicherkapazität für die Stickoxide reduziert. Im Stickoxid-Speicher-katalysator werden die Stickoxide in Form von Nitraten eingelagert, während der Schwefel in Form von Sulfaten eingelagert wird. Da die Sulfate chemisch stabiler als die Nitrate sind, ist ein Sulfatzerfall bei der Stickoxid-Regeneration nicht möglich. Erst bei Katalysatortemperaturen oberhalb 650°C kann unter reduzierenden Bedingungen ein Schwefelaustrag

erzielt werden. Derartige hohe Katalysator-Temperaturen werden insbesondere im Stadtverkehr jedoch regelmäßig nicht erreicht.

Aus der gattungsbildenden WO 02/14658 A1 ist ein Verfahren zur Steuerung
5 des Magerbetriebs einer einen Stickoxid-Speicherkatalysator aufweisenden
Brennkraftmaschine bekannt, bei dem von der Brennkraftmaschine erzeugte
Stickoxide in einer ersten Betriebsphase (Magerbetrieb) als Einspeicherphase
für eine bestimmte Einspeicherzeit in den Stickoxid-Speicherkatalysator eingespeichert werden, und bei dem nach Ablauf der Einspeicherzeit mittels einer
10 Steuereinrichtung als Motorsteuerung zu einem bestimmten Umschaltzeitpunkt
für eine bestimmte Entladezeit auf eine zweite Betriebsphase (Fettbetrieb) als
Entladungsphase umgeschaltet wird, in der die während der Einspeicherzeit
eingespeicherten Stickoxide aus dem Stickoxid-Speicherkatalysator ausgespeichert werden. Weiter werden der Stickoxid-Massenstrom vor dem Stick-
15 oxid-Speicherkatalysator und/oder der Stickoxid-Massenstrom nach dem
Stickoxid-Speicherkatalysator jeweils über eine gleiche Zeitdauer aufintegriert.

Konkret werden hier diese Integralwerte miteinander in eine Relativbeziehung
gesetzt. Damit soll bei diesem Verfahren ein Gütefaktor ermittelt werden, der
20 eine Aussage über die Speicherfähigkeit des Stickoxid-Speicherkatalysators
ermöglicht, und zwar im Hinblick auf eine Katalysatoralterung durch eine
Schwefelvergiftung bzw. eine thermische Schädigung oder ein alterungs-
bedingtes Nachlassen der Speicherfähigkeit. Insbesondere soll dadurch der
Vergiftungsgrad des Katalysators mit Schwefel ermittelt werden und so der
25 Schwefelgehalt in der Steuereinrichtung der Brennkraftmaschine korrigiert
werden, um eine Schwefelregenerierung zu optimieren. Durch die Aufintegration über die Zeitdauer sollen Auswirkungen von Schwankungen und Störungen
auf die ermittelten Stickoxid-Massenstromwerte reduziert werden, da über
eine bestimmte Zeitdauer gesehen eine Art Durchschnittswert des Gütefaktors
30 erhalten wird, der aussagekräftiger sein soll als einzelne, zu bestimmten Zeiten
erhaltene momentane Werte. Im praktischen Betrieb herrschen jedoch bei

Stickoxid-Speicherkatalysatoren regelmäßig so komplexe Betriebsbedingungen vor, dass der Gütefaktor trotz der Bezugnahme auf eine bestimmte Zeitdauer unter Umständen nicht in ausreichendem Maße den tatsächlichen Zustand der Speicherfähigkeit des Stickoxid-Speicherkatalysators wiedergibt.

5 Dies kann sich zum einen negativ auf den Kraftstoffverbrauch auswirken, da z. B. zu früh fettes Gemisch zugegeben wird. Andererseits besteht die Gefahr, dass das Einsparpotential durch den Magerbetrieb so gering ist, dass nur ein geringer Verbrauchsvorteil herausgefahren werden kann. Da der Magerbetrieb jedoch zu hohen Stickoxid-Emissionen führt, steht dann bei bestimmten Betriebsbereichen der Verbrauchsvorteil in keinem vernünftigen Verhältnis zu den tatsächlichen Stickoxid-Emissionen. Eine Entladung selbst soll bei dieser Verfahrensweise nur dann stattfinden, wenn die modellierte, eingespeicherte Stickoxidmasse einen bestimmten Grenzwert überschritten hat.

15 Ferner ist es in Verbindung mit dem Betreiben eines Stickoxid-Speicherkatalysators bekannt, die Alterung, insbesondere die Alterung der Schwefelvergiftung, bei der Auslegung eines Stickoxid-Speicherkatalysators zu berücksichtigen, um sicherzustellen, dass die Katalysatoralterung über die vorgesehene Lebensdauer des Katalysators zur Einhaltung der vorgegebenen Abgasgrenzwerte im Hinblick auf die Stickoxid-Emissionen bei einem gealter-

20 ten Stickoxid-Speicherkatalysator führt. Hierzu ist es bereits allgemein bekannt, die Anzahl der Entladungen so an die pro Be- und Entladezyklus ausgespeicherte Stickoxidmenge anzupassen, dass bei einer gegenüber einem neuen Stickoxid-Speicherkatalysator verringerten Speicherfähigkeit eines

25 gealterten Stickoxid-Speicherkatalysators die während der Abgastest-Zeitspanne abgegebene Stickoxidmenge den vorgegebenen Abgasgrenzwert nicht überschreitet. Diese pro Beladezyklus vorgegebene Stickoxid-Abgabemenge für einen gealterten Speicherkatalysator ist eine absolute Größe und stellt den absoluten Stickoxid-Schlupf dar, d. h., dass sobald der Speicherkatalysator mit

30 dieser Stickoxidmenge beladen ist, eine Entladung stattfindet. Dieser absolute Stickoxid-Schlupf als feststehender Wert gilt sowohl für den neuen als auch für

den gealterten Stickoxid-Speicherkatalysator. Da pro Entladung ein fettes Gemisch von Lambdagröße 1 benötigt wird, steigt mit der zunehmenden Zahl der Entladungen im Laufe des Alterns eines Speicherkatalysators auch der Kraftstoffverbrauch gegenüber demjenigen eines neuen Speicherkatalysators.

5

Aufgabe der Erfindung ist es, ein alternatives Verfahren zur Steuerung des Magerbetriebs einer einen Stickoxid-Speicherkatalysator aufweisenden Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeuges zur Verfügung zu stellen, mit dem auf einfache Weise eine insbesondere hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs und hinsichtlich der Stickoxid-Emissionen optimierte Betriebsweise der Brennkraftmaschine möglich ist.

Diese Aufgabe wird gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

- 15 Gemäß Anspruch 1 wird in einem ersten Verfahrensschritt zur Festlegung des Umschaltzeitpunktes von der Einspeicherphase auf die Entladephase wenigstens aus dem Integralwert des Stickoxid-Massenstroms vor und/oder nach dem Speicherkatalysator ein Umschalt-Betriebspunkt ermittelt. Dieser jeweilige Umschalt-Betriebspunkt wird in einem zweiten Verfahrensschritt mit einem
- 20 vorgebbaren, insbesondere hinsichtlich des Kraftstoffeinsparpotentials optimierten Betriebsfeld als Funktion der Lastaufnahme der Brennkraftmaschine, das durch eine Vielzahl von einzelnen Betriebspunkten für einen neuen und einen gealterten Speicherkatalysator gebildet ist, verglichen. Bei einem innerhalb des Betriebsfeldes liegenden Umschalt-Betriebspunkt gibt die Motorsteuer-
- 25 ung den Magerbetrieb und damit das Umschalten zwischen der Einspeicherphase und der Entladungsphase des Stickoxid-Speicherkatalysators frei, während die Motorsteuerung dagegen bei einem das Betriebsfeld verlassenden Umschalt-Betriebspunkt einen Lambdabetrieb der Brennkraftmaschine, bei dem Lambda gleich 1 ist, vorgibt.

Vorteilhaft wird mit einem derartigen Verfahren somit eine lastabhängige Bestimmung und Steuerung des sinnvollen Magerbetriebs erreicht, da bei solchen Lastbereichen, bei denen sich das Einsparpotential durch den Magerbetrieb stark verringert und die eine erhöhte Stickoxid-Emission bewirken, die Brennkraftmaschine dauerhaft im Lambdabetrieb, d.h. mit einem Lambda gleich 1, betrieben wird. D. h., dass für den Fall, dass kaum eine Verbrauchseinsparung gegeben ist, wie dies insbesondere bei hohen Lastaufnahmen, wie z. B. großen Beschleunigungen, der Fall ist, durch den Lambdabetrieb die Stickoxid-Emissionen vorteilhaft erheblich reduziert werden können. Durch die Verknüpfung mit dem Betriebsfeld als Funktion der Lastaufnahme der Brennkraftmaschine, das durch eine Vielzahl von einzelnen Betriebspunkten für einen neuen und einen gealterten Speicherkatalysator gebildet ist, wird erreicht, dass hierbei auch stets der jeweilige Alterungszustand des Stickoxid-Speicherkatalysators berücksichtigt wird, da das Einsparpotential bezüglich des Kraftstoffverbrauchs bei einem neuen Stickoxid-Speicherkatalysator größer ist als bei einem bereits gealterten Stickoxid-Speicherkatalysator, was bedeutet, dass ein gealterter Stickoxid-Speicherkatalysator bereits bei einer geringeren Lastaufnahme als dies bei einem neuen Stickoxid-Speicherkatalysator der Fall ist, vom Magerbetrieb auf den Lambdabetrieb umgeschaltet werden muss. Da ein alter Stickoxid-Speicherkatalysator öfters entladen werden muss als ein neuer Stickoxid-Speicherkatalysator, d. h. öfters vom Magerbetrieb in den Fettbetrieb umgeschaltet werden muss, reduziert sich hierdurch ersichtlich das Einsparpotential bezüglich des Kraftstoffverbrauchs durch den Magerbetrieb. Ab einem vorgebbaren Grenzwert muss dann so oft entladen werden, d. h. so oft zwischen Magerbetrieb und Fettbetrieb umgeschaltet werden, dass sich gegenüber dem dauerhaften Lambdabetrieb der Brennkraftmaschine kaum mehr Verbrauchsvorteile ergeben. Dies ist insbesondere bei höheren Lastaufnahmen kritischer als bei niedrigeren Lastaufnahmen, so dass durch die erfindungsgemäße Verfahrensweise und dem Vergleich eines Umschalt-Betriebspunktes mit einem lastabhängigen Betriebsfeld eine einfache und

zuverlässige Bestimmung zur Steuerung des sinnvollen Magerbetriebs möglich wird.

Gemäß einer besonders bevorzugten Verfahrensführung nach Anspruch 2 wird das Betriebsfeld lastabhängig im wesentlichen einerseits durch eine Einsparpotential-Grenzkurve für einen neuen Stickoxid-Speicherkatalysator und andererseits durch eine Einsparpotential-Grenzkurve für einen Grenzalterungszustand darstellenden gealterten Speicherkatalysator begrenzt. Die Einsparpotential-Grenzkurve für den einen Grenzalterungszustand darstellenden gealterten Speicherkatalysator kann je nach den individuellen Erfordernissen gewählt werden, d. h. z. B. in Abhängigkeit vom vorgegebenen Einsparpotential, das noch einen sinnvollen Magerbetrieb im Hinblick auf die Stickoxid-Emissionen und den Verbrauchsvorteil ermöglicht. Innerhalb des Betriebsfeldes stellt eine Änderung des Umschalt-Betriebspunktes gegenüber dem vorherigen Betriebspunkt die Änderung der Lastaufnahme dar und/oder ist ein Maß für die Veränderung des Einsparpotentials. Ein Wandern des Umschalt-Betriebspunktes bei angenommener gleicher Lastaufnahme in Richtung zum gealterten Speicherkatalysator im Betriebsfeld stellt somit ein Maß für die Reduzierung bzw. Änderung des Einsparpotentials dar.

Nach Anspruch 3 kann zur Festlegung des Umschaltzeitpunktes von der Einspeicherphase auf die Entladephase ein relativer Stickoxid-Schlupf als Differenz zwischen dem in den Stickoxid-Speicherkatalysator eingeströmten Stickoxid-Massenstrom und dem aus dem Stickoxid-Speicherkatalysator ausgeströmten Stickoxid-Massenstrom jeweils bezogen auf die Einspeicherzeit ermittelt werden, wobei der Quotient der Integralwerte des Stickoxid-Massenstroms vor und nach dem Stickoxid-Speicherkatalysator zudem in eine Relativbeziehung mit einem vorgebbaren, von einem Abgasgrenzwert abgeleiteten Stickoxid-Konvertierungsgrad gebracht wird, so dass beim Vorliegen dieser vorgegebenen Umschaltbedingung im Falle eines innerhalb des Betriebsfeldes liegenden Umschalt-Betriebspunktes das Umschalten von der Einspeicher-

phase (Magerbetrieb) auf die Entladephase (Fettbetrieb) zum hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Einspeicherpotential optimierten Umschaltzeitpunkt durchgeführt wird. Vorteilhaft wird hier als Bezugsgröße für das Umschalten somit auf die in eine Relativbeziehung zueinander gebrachten Zeitintegrale der Stickoxidmenge vor und nach dem Stickoxid-Speicherkatalysator in Verbindung mit einem vorgebbaren Konvertierungsgrad abgestellt. D. h., dass bei dieser Entladestrategie die Endrohremissionen bezüglich Stickoxid weitgehend unabhängig vom Alterungszustand des Katalysators sind und des weiteren das Abgasergebnis auch weitgehend unabhängig von der Anzahl der Entladungen pro Zeiteinheit ist. Mit einer derartigen Betriebsweise kann vorteilhaft die jeweils im Katalysator vorhandene Einspeicherungskapazität voll ausgenützt werden, was sich beim neuen bzw. neueren Katalysator in einem gegenüber einem gealterten Speicherkatalysator reduzierten Kraftstoffverbrauch niederschlägt, da der neue bzw. neuere Katalysator weniger oft entladen zu werden braucht als ein gealterter Katalysator, da der relative Schlupf, bei dem entladen werden soll, erst zu einem späteren Zeitpunkt als dies beim gealterten Speicherkatalysator der Fall ist, erreicht wird. Beim gealterten Speicherkatalysator steigt bei der Betriebsweise in Verbindung mit dem relativen Schlupf nur die Anzahl der Entladungen, wobei diese jedoch weitgehend unabhängig vom Abgasergebnis als solchem sind. Denn mit dieser Betriebsweise würde stets nur dann entladen, wenn dies erforderlich wird, um nicht den vorgegebenen Abgasgrenzwert pro Zeiteinheit zu überschreiten, da die aufintegrierten Stickoxid-Massenströme vor und nach dem Stickoxid-Speicherkatalysator hier in Bezug zu dem für die Einhaltung eines Abgasgrenzwertes erforderlichen Konvertierungsgrad gesetzt werden. Im Gegensatz zur Betriebsweise gemäß dem Stand der Technik braucht aufgrund der Ausnutzung des vollen Einspeicherpotentials ein neuer Speicherkatalysator auf eine bestimmte Zeitdauer gesehen weniger oft entladen zu werden, als dies beim neuen Speicherkatalysator gemäß dem Stand der Technik der Fall ist, bei dem das Einspeicherpotential eines neuen Speicherkatalysators nicht voll ausgenutzt werden kann. Denn bei der Betriebsweise gemäß dem Stand der Technik gilt die pro Ent-

ladung vorgegebene absolute Stickoxid-Schlupfmenge als fester Wert sowohl für den alten als auch für den neuen Speicherkatalysator, so dass auch der neue Speicherkatalysator beim Stand der Technik stets dann eine Entladung durchzuführen hat, wenn dieser von vorneherein festgelegte absolute Stickoxid-Schlupf erreicht ist, und dies obwohl hier der neue Stickoxid-Speicherkatalysator noch weiter Stickoxide einlagern könnte. Im Gegensatz dazu wird bei der Betrachtungsweise durch die Relativbeziehung stets das gesamte momentane Einspeicherpotential ausgenutzt, so dass gegenüber der Betriebsweise beim Stand der Technik insbesondere bezogen auf einen neuen bzw. neueren Speicherkatalysator eine erhebliche Kraftstoffeinsparung erzielt wird. Denn bei der Betriebsweise gemäß dem Stand der Technik wird, da beim neuen bzw. neueren Speicherkatalysator die Entladung bereits früher als erforderlich eingeleitet wird, auch ein fettes Gemisch früher als nötig zugegeben.

Gemäß einer besonders bevorzugten Verfahrensführung ist nach Anspruch 4 vorgesehen, dass der relative Schlupf der Quotient aus dem Integral über dem Stickoxid-Massenstrom nach dem Stickoxid-Katalysator und aus dem Integral über dem Stickoxid-Massenstrom vor dem Stickoxid-Speicherkatalysator ist. Dieser Quotient wird zur Ermittlung der Umschaltbedingung gleich einem vorgebbaren Umschaltschwellwert K gesetzt, der auf den vorgebbaren Stickoxid-Konvertierungsgrad zurückgeht, so dass beim Erfüllen dieser Umschaltbedingung ein Umschalten von der Einspeicherphase am Ende der Summe der ermittelten Einspeicherzeit auf die Entladungsphase erfolgt. Beispielsweise genügt dieser Umschaltschwellwert K nach Anspruch 5 folgender Gleichung:

$$K = 1 - \text{vorgegebene Stickoxid-Konvertierungsrate}$$

Die vorgegebene Stickoxid-Konvertierungsrate ist dabei stets kleiner 1, beträgt vorzugsweise jedoch wenigstens 0,8, höchst bevorzugt im Hinblick auf die Euro-IV-Abgasgrenzwertnorm jedoch in etwa 0,95.

Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Verfahrensführung nach Anspruch 6 wird zur Ermittlung des Alterungsgrades des Speicherkatalysators aus dem Integralwert des Stickoxid-Massenstroms vor und/oder nach dem Speicherkatalysator und/oder dem Umschaltzeitpunkt jeweils beim Erfüllung
5 der Umschaltbedingung zudem der Umschalt-Betriebspunkt als Funktion einer momentanen Betriebstemperatur zum Umschaltzeitpunkt ermittelt. Der jeweilige Umschalt-Betriebspunkt wird in einer zweiten Stufe zur Ermittlung des Alterungsgrades des Speicherkatalysators mit einem über ein Temperaturfenster verlaufenden, vorgebbaren, insbesondere hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs optimierten Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld, das durch eine
10 Vielzahl von einzelnen Betriebspunkten für einen neuen und einen gealterten Speicherkatalysator gebildet ist, verglichen. Ein innerhalb des Speicherkatalysator-Kapazitätsfeldes liegender Umschalt-Betriebspunkt stellt keine Unterschreitung der minimalen Stickoxid-Speicherfähigkeit dar, sondern stellt die
15 Änderung gegenüber dem vorherigen Betriebspunkt als Maß für die Speicherkatalysator-Alterung dar, während ein das Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld verlassender Umschalt-Betriebspunkt eine Unterschreitung der minimalen Stickoxid-Speicherfähigkeit anzeigt.

20 Vorteilhaft wird mit einer derartigen Verfahrensführung somit auf einfache Weise zugleich eine zuverlässige Bewertung des Alterungsgrades eines Stickoxid-Speicherkatalysators möglich, da durch die zusätzliche Bezugnahme auf eine momentane Betriebstemperatur zum Umschaltzeitpunkt ein Umschalt-Betriebspunkt ermittelt wird, der im Vergleich mit einem Speicherkatalysator-
25 Kapazitätsfeld eine genaue, zuverlässige Aussage über den jeweiligen Alterungszustand des Stickoxid-Speicherkatalysators ermöglicht. Denn ein bereits zu regenerierender Speicherkatalysator kann unter günstigen Betriebsbedingungen, d. h. insbesondere optimalen Betriebstemperaturen, regelmäßig noch mit einer geringeren Anzahl von Entladungen auskommen, als dies bei dem-
30 gegenüber ungünstigeren Betriebstemperaturen der Fall wäre. Dies bedeutet, dass durch die geringe Anzahl von Entladungen im optimierten Betriebsbereich

kein zu hoher Kraftstoffverbrauch vorliegt, als dies bei ungünstigeren Betriebsbedingungen der Fall ist, bei denen derselbe Speicherkatalysator öfter Entladen werden muss. D. h., dass mit der erfindungsgemäßen Verfahrensweise bereits auch in solchen Betriebszuständen, in denen noch optimierte Betriebsbedingungen vorliegen, eine Aussage getroffen werden kann, ob der Speicherkatalysator bereits zu regenerieren ist oder nicht. Die Regenerierung wird hier durch die Bezugnahme auf die Betriebstemperatur des Speicherkatalysators zum richtigen und damit optimalen Zeitpunkt erkannt, was sich positiv auf den Kraftstoffverbrauch auswirkt, da ein Betrieb des Speicherkatalysators nur im hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs erwünschten Betriebsbereich erfolgt. Vorteilhaft kann hier somit ein einmal ermittelter Umschalt-Betriebspunkt einerseits zum Vergleich mit dem Betriebsfeld als Funktion der Lastaufnahme der Brennkraftmaschine und zudem zum Vergleich mit dem Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld verwendet werden, um daraus die optimale Betriebsweise der Brennkraftmaschine und/oder des Speicherkatalysators abzuleiten.

Bevorzugt ist das Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld bezogen auf das Temperaturfenster nach Anspruch 7 einerseits durch eine Grenzlinie für einen neuen Speicherkatalysator und andererseits durch eine Grenzlinie für einen einen Grenzalterungszustand darstellenden gealterten Speicherkatalysator begrenzt. D. h., dass der zwischen diesen beiden Grenzkurven liegende Bereich des Speicherkatalysator-Kapazitätsfeldes ein Maß für die Katalysatoralterung darstellt. Die Grenzlinie für den einen Grenzalterungszustand darstellenden gealterten Speicherkatalysator kann je nach den individuellen Erfordernissen gewählt werden, d. h. z. B. in Abhängigkeit vom vorgegebenen, gerade noch tolerierbaren erhöhten Kraftstoffverbrauch in Verbindung mit einem gealterten Speicherkatalysator und/oder einer vorgegebenen Speicherkatalysator-Standzeit. Besonders bevorzugt umfasst das Temperaturfenster nach Anspruch 8 Temperaturwerte zwischen in etwa 200°C und in etwa 450°C, wobei z. B. ein optimaler Betriebspunkt im Bereich von 280°C bis 320°C liegt.

Besonders bevorzugt ist nach Anspruch 9 ein Verfahren, bei dem bei Unterschreitung der minimalen Stickoxid-Speicherfähigkeit ein Fehlersignal im Motorsteuergerät gesetzt wird, so dass z. B. ein Austausch des Stickoxid-Speicher-katalysators vorgenommen werden kann, um die Brennkraftmaschine weiterhin mit niedrigem Kraftstoffverbrauch betreiben zu können.

Nach Anspruch 10 wird der Stickoxid-Massenstrom vor dem Stickoxid-Speicher-katalysator modelliert. Grundsätzlich könnte dieser Stickoxid-Massenstrom vor dem Stickoxid-Speicher-katalysator jedoch auch gemessen werden, z. B. mittels eines Stickoxid-Sensors. Ein derartiger Stickoxid-Sensor wird nach Anspruch 11 vorteilhaft jedoch nach dem Stickoxid-Speicher-katalysator vorgesehen, um den Stickoxid-Massenstrom nach dem Stickoxid-Speicher-katalysator zu messen. Insbesondere für die Zeiten, in denen der Stickoxid-Sensor nicht betriebsbereit ist, kann auch der Stickoxid-Massenstrom nach dem Stickoxid-Speicher-katalysator modelliert werden. Unter Modellierung wird dabei verstanden, dass der Stickoxid-Rohmassenstrom vor dem Stickoxid-Speicher-katalysator bzw. der Stickoxid-Massenstrom nach dem Stickoxid-Speicher-katalysator einem Stickoxid-Einspeichermodell bzw. einem Stickoxid-Roh-emissionsmodell entnommen werden. In den Modellen wird z. B. aus den Betriebspunkt der Brennkraftmaschine beschreibenden Parametern, z. B. der zugeführten Kraftstoffmasse oder Luftmasse, dem Drehmoment, etc., der Stickoxid-Rohmassenstrom modelliert. Ebenso kann der modellierte Stickoxid-Rohmassenstrom aber auch einer Kennlinie oder einem Kennfeld entnommen werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand einer Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm der Stickoxidmenge über der Zeit für einen neuen Stickoxid-Speicher-katalysator,

Fig. 2 ein schematisches Diagramm der Stickoxidgehaltmenge über der Zeit für einen gealterten Stickoxid-Speicher-katalysator,

5 Fig. 3 eine schematische vergleichende Darstellung der Entladezyklen eines neuen und gealterten Stickoxid-Speicher-katalysators,

Fig. 4 ein schematisches Diagramm des Verbrauchs über den Emissionen mit Applikationslinien für einen neuen und einen alten Stick-oxid-Speicher-katalysator im Vergleich,

10 Fig. 5 eine schematische Darstellung eines hinsichtlich des Kraftstoff-einsparpotentials optimierten Betriebsfeldes als Funktion der Lastaufnahme,

15

Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Speicher-katalysator-Betriebsfeldes über ein Temperaturfenster,

20 Fig. 7 eine schematische Darstellung der Stickoxidgehaltmenge über der Zeit für eine Betriebsweise gemäß dem Stand der Technik.

25

In Fig. 7 ist eine schematische Darstellung der Stickoxidgehaltmenge über der Zeit für eine Betriebsweise eines Stickoxid-Speicher-katalysators gemäß dem Stand der Technik dargestellt. So ist hier im linken Teil des Diagramms bezogen auf den fest vorgegebenen absoluten Stickoxid-Schlupf die maximale Einspeicherzeit dargestellt, und zwar mit durchgezogenen Linien für den neuen Speicher-katalysator und strichliert für den gealterten Speicher-katalysator. Rein schematisch ist hier dargestellt, dass die Anzahl der Entladungen beim gealterten Speicher-katalysator höher ist, so dass, da jedes Mal in etwa eine gleiche Menge an Stickoxiden pro Zeiteinheit eingespeichert ist, während einer bestimmten Zeitspanne beim gealterten Stickoxidkatalysator eine höhere

30

Stickoxidmenge abgegeben wird als dies während der gleichen Zeitspanne beim neuen Speicherkatalysator der Fall ist. Dies führt dazu, dass hier die Anzahl der Entladungen pro Zeitspanne direkt in das Abgasergebnis mit eingeht und somit in Bezug auf die Einhaltung der Abgasgrenzwerte pro vorgegebener Abgasgrenzwert-Zeiteinheit auf die Anzahl der möglichen Entladungen eines gealterten Speicherkatalysators am Ende dessen Lebensdauer abzustellen ist und daher der fest vorgegebene absolute Schlupfwert entsprechend reduziert werden muss, um die Abgasnorm zu erfüllen. Dies ist im rechten Teil des Diagramms schematisch dargestellt und führt somit dazu, dass das Einspeicherpotential des neuen Speicherkatalysators nicht ausgenutzt wird. Da nun aber bei dieser Betriebsweise – auf Grund des fest vorgegebenen absoluten Schlupfes – beim neuen Speicherkatalysator die Entladung bereits früher als eigentlich nötig eingeleitet wird, wirkt sich dies beim neuen Speicherkatalysator nachteilig auf den Kraftstoffverbrauch aus, da ein fetteres Gemisch früher als nötig abgegeben wird. Das heißt, dass bezogen auf eine bestimmte Zeitspanne eigentlich mehr fettes Gemisch zugegeben wird als dies während dieser Zeitspanne erforderlich gewesen wäre, wenn die eigentlich vorhandene Speicherkapazität eines neuen bzw. neueren Speicherkatalysators vollständig ausgenutzt worden wäre.

In den Fig. 1 und 2 ist lediglich zur Veranschaulichung des Prinzips einer konkreten erfindungsgemäßen Verfahrensweise schematisch und beispielhaft jeweils die Stickoxidmenge über der Zeit aufgetragen, wobei die Stickoxidmenge aufsummiert dargestellt ist. Ausgehend von einer lediglich zur einfacheren Veranschaulichung angenommenen konstanten Anlieferung einer konstanten Stickoxidmenge über der Zeit ergibt das Integral über den Stickoxid-Massenstrom vor dem Stickoxid-Speicherkatalysator über die betrachtete Zeitspanne einen linearen Anstieg, wie dies in den Fig. 1 und 2 schematisch dargestellt ist. Bei einem neuen Stickoxid-Speicherkatalysator ist noch die volle Speicherkapazität vorhanden, d. h., es hat noch z.B. keine Vergiftung durch Schwefel stattgefunden, so dass für eine Einspeicherzeit t_1 so lange Stickoxide in den

Stickoxid-Speicherkatalysator eingelagert werden, bis der Quotient aus dem Integral über den Stickoxid-Massenstrom nach dem Stickoxid-Speicherkatalysator und aus dem Integral über den Stickoxid-Massenstrom vor dem Stickoxid-Speicherkatalysator gleich einem vorgegebenen, von einem Abgasgrenzwert abgeleiteten Umschaltenschwellwert K ist, der auf einen vorgegebenen, von einem Abgasgrenzwert abgeleiteten Stickoxid-Konvertierungsgrad zurückgeht, so dass beim Erfüllen dieser Umschaltbedingung nach Ablauf der Einspeicherzeit t_1 ein Umschalten auf eine hier nicht mehr dargestellte Entladungsphase erfolgt, in der fettes Gemisch zum Ausspeichern der Stickoxide zugeführt wird.

Beispielsweise beträgt der Umschaltenschwellwert K bei einer vorgegebenen Stickoxid-Konvertierungsrate von 95%, d. h. von 0,95, dann 0,05 bezogen auf 1 (= 100%) als Bezugsgröße. Dies bedeutet, dass im vorliegenden Fall eines neuen Stickoxid-Speicherkatalysators dann die Entladungsphase eingeleitet wird, wenn der Quotient aus den beiden oben angegebenen Integralen gleich 0,05 oder 5% ist.

In der Fig. 2 ist nun im wesentlichen dasselbe für einen gealterten Stickoxid-Speicherkatalysator dargestellt, d. h. bei einem Stickoxid-Speicherkatalysator der z. B. bereits stark mit Schwefel vergiftet ist. Wie dies aus der lediglich schematisch und beispielhaften Darstellung der Fig. 2 ersichtlich wird, sind bei einem derartigen gealterten Stickoxid-Speicherkatalysator innerhalb der gleichen betrachteten Zeitspanne t_1 z. B. lediglich zwei Entladungen erforderlich, und zwar einmal nach einer Zeit t_2 , die vor der Zeit t_1 liegt, und dann wiederum zum Zeitpunkt t_1 , der dem Zeitpunkt t_1 der Fig. 1 entspricht. Durch den relativen Schlupf als Quotienten aus dem Integral über den Stickoxid-Massenstrom nach und vor dem Stickoxid-Speicherkatalysator und dessen in Beziehung setzen mit einem vorgegebenen, von einem Abgasgrenzwert ableitbaren Stickoxid-Konvertierungsgrad wird erreicht, dass zum Umschaltzeitpunkt, zu dem die Umschaltbedingung erfüllt ist, der Quotient der Integralwerte X_2 und X_3 zum Zeitpunkt t_2 und der Quotient der Integralwerte X_1 und X_0 zum Zeitpunkt t_1 sowie auch der Quotient aus der Differenz der Integralwerte $X_1 - X_2$

und $X_0 - X_3$ zum Zeitpunkt t_1 stets gleich dem vorgegebenen Umschalt-
 schwellwert K ist. Ebenso entspricht der Quotient der Integralwerte X_1 und X_0
 zum Zeitpunkt t_1 (Umschaltzeitpunkt) der Fig. 1, d. h. beim neuwertigen Stick-
 oxid-Speicherkatalysator diesem Umschaltswellwert K , so dass durch die
 5 erfindungsgemäße Bezugnahme auf den Stickoxid-Konvertierungsgrad stets
 sichergestellt ist, dass eine Entladung dann stattfindet, wenn dies zur Erfüllung
 der auf einen bestimmten Abgasgrenzwert zurückgehenden Konvertierungs-
 grad erforderlich ist. D. h., dass die jeweils im Stickoxid-Speicherkatalysator
 vorhandene Einspeicherkapazität entsprechend dem Alterungszustand des
 Stickoxid-Speicherkatalysators voll ausgenutzt werden kann.

Wie dies insbesondere aus der Fig. 3 hervorgeht, wird durch diese Verfah-
 rensweise weiter erreicht, dass der Abgasgrenzwert stets eingehalten wird, da
 die Anzahl der Entladungen zwar mit zunehmender Alterung des Katalysators
 15 ansteigt, diese jedoch keinerlei Einfluss auf die Abgasmengen als solche hat,
 da die Anzahl der Entladungen zu jedem Alterungszeitpunkt so optimal an die
 erforderliche Konvertierungsrate und damit den vorgegebenen Abgasgrenz-
 wert angepasst wird, dass dieser Abgasgrenzwert und damit die erforderliche
 Konvertierungsrate pro Abgasgrenzwert-Zeitspanne nicht überschritten wird.

20 So entspricht die in der Fig. 3 auf der oberen Abszisse pro Entladevorgang ab-
 gegebene und schraffiert dargestellte Abgasmenge als Summe der Abgas-
 mengen A_1, A_2, A_3, A_4 und A_5 , wobei hier für den Sonderfall Konstantbetriebs-
 punkt der Brennkraftmaschine $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = A_5$ ist, genau der auf der
 unteren Abszisse dargestellten Abgasmenge als Summe der Flächen a_1 bis
 25 a_{10} , wobei auch hier für den Sonderfall Konstantbetriebspunkt der Brennkraft-
 maschine $a_1 = a_2 = a_3 = \dots = a_{10}$ ist. Zudem ist hier die Summe der Flächen-
 integrale der Nach-Katemissionen beim neuen und beim gealterten Speicher-
 katalysator nahezu gleich.

30 Das heißt, dass über die gleiche Zeitspanne betrachtet beim gealterten Stick-
 oxid-Speicherkatalysator nur die Zahl der Entladungen steigt, nicht jedoch die

während dieser Zeitspanne abgegebene Stickoxidgebiet, so dass ein vorgegebener Emissionsgrenzwert als Abgaswert dadurch stets eingehalten werden kann.

- 5 Der Vorteil dieser Verfahrensführung zeigt sich auch im in der Fig. 4 dargestellten Diagramm des Kraftstoffverbrauchs über den Emissionen. In diesem Diagramm ist einmal die Betriebslinie als Applikationslinie B_{neu} für einen neuen Stickoxid-Speicherkatalysator und eine Betriebslinie als Applikationslinie B_{alt} für einen gealterten Stickoxid-Speicherkatalysator dargestellt. Dieses Diagramm zeigt, dass der Stickoxid-Speicherkatalysator, wie dies in der Fig. 4 durch Bezugszeichen 1 gezeigt ist, mit niedrigem Verbrauch ohne ein Vorhalten der Katalysatoralterung, wie dies bei der Verfahrensführung gemäß dem Stand der Technik der Fall ist und dies in der Fig. 4 mit 1' und strichliert eingezeichnet ist, möglich ist, so dass im Verlauf der Katalysatoralterung durch die
- 10 gesteigerte Anzahl der Entladungen zwar der Verbrauch ansteigt, jedoch keine Überschreitung der Emissionsgrenze erfolgt. Im Gegensatz zur Betriebsweise gemäß dem Stand der Technik ist hier zwar bei der erfindungsgemäßen Betriebsweise das Abgasergebnis beim neuen Speicherkatalysator „schlechter“, liegt jedoch dauerhaft unter dem vorgeschriebenen Abgasgrenzwert. Das
- 15 heißt, dass mit dieser Betriebsweise eine stets optimierte Betriebsweise möglich ist, ohne dass ein unnötiges Vorhalten beim neuen Speicherkatalysator stattfindet.
- 20

- In der Fig. 5 ist nunmehr ein hinsichtlich des Kraftstoffeinsparpotentials optimiertes Betriebsfeld als Funktion der Lastaufnahme der Brennkraftmaschine
- 25 dargestellt, wobei auf der Abszisse die Lastaufnahme aufgetragen ist, während auf der Ordinate hier einmal die Stickoxid-Emissionen, d. h. insbesondere die Stickoxid-Rohemissionen aufgetragen sind. Aus der NOx-Kurve ist ersichtlich, dass mit zunehmender Lastaufnahme die Stickoxid-Rohemissionen ansteigen.
- 30 Ferner ist auf der Ordinate auch noch das Einsparpotential schematisch aufgetragen. Das Einsparpotential über der Lastaufnahme spannt das lastab-

hängige Betriebsfeld auf, das einerseits durch eine Einsparpotential-Grenzkurve G_{neu} eines neuen Stickoxid-Speicherkatalysators und andererseits durch eine Einsparpotential-Grenzkurve G_{alt} für einen einen Grenzalterungszustand darstellenden gealterten Speicherkatalysator begrenzt ist. Wie ein Vergleich dieser beiden Grenzkurven G_{neu} und G_{alt} zeigt, ist das Einsparpotential bezüglich des Kraftstoffverbrauchs für einen neuen Speicherkatalysator größer als bei einem alten bzw. gealterten Speicherkatalysator. Dieses hinsichtlich des Kraftstoffeinsparpotentials optimierte Betriebsfeld als Funktion der Lastaufnahme der Brennkraftmaschine wird somit durch eine Vielzahl von einzelnen Betriebspunkten für einen neuen und einen gealterten Speicherkatalysator gebildet.

Für eine erfindungsgemäße Bestimmung und/oder Steuerung bzw. Regelung eines sinnvollen Magerbetriebs wird in einem ersten Verfahrensschritt der relative Stickoxid-Schlupf, wie dies zuvor bereits ausführlich beschrieben worden ist, als Umschaltbedingung ermittelt, so dass beim Vorliegen dieser vorgegebenen Umschaltbedingung das Umschalten von der Einspeicherphase auf die Entladephase, d. h. vom Magerbetrieb auf den Fettbetrieb zum hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Einspeicherpotential optimierten Umschaltzeitpunkt durchgeführt werden könnte.

Dieser so ermittelte Umschalt-Betriebspunkt wird in einem zweiten Verfahrensschritt mit dem lastabhängigen Betriebsfeld verglichen. Dieses lastabhängige Betriebsfeld ist in der Fig. 5 dargestellt und durch eine Einsparpotential-Grenzkurve G_{neu} für einen neuen Stickoxid-Sparkatalysator sowie für eine Einsparpotential-Grenzkurve G_{alt} für einen alten Stickoxid-Speicherkatalysator aufgespannt. Auf der Abszisse des in der Fig. 5 lediglich beispielhaft und schematisch dargestellten Diagramms ist die Lastaufnahme aufgetragen. Der oberhalb der Lastaufnahmen-Abszisse liegende Teil des Betriebsfeldes ist schraffiert dargestellt und stellt ein sog. positives Kraftstoffeinsparpotential dar, während der nicht mehr schraffierte Teil des Betriebsfeldes unterhalb der Last-

aufnahmen-Abszisse bereits ein negatives Kraftstoffeinsparpotential, d.h. einen erhöhten Kraftstoffverbrauch darstellt. Zudem ist im Diagramm der Fig. 5 auch noch der Anstieg der NO_x-Emissionen, d.h. insbesondere der NO_x-Rohemissionen bei zunehmender Lastaufnahme gezeigt. Betrachtet man beispielhaft einen Konstantlastfall 1, der im Diagramm der Fig. 5 im wesentlichen durch die Schnittpunkte mit den Einsparpotential-Grenzkurven G_{neu} und G_{alt} als Umschalt-Betriebspunkte Z_{neu1} und Z_{alt1} charakterisiert ist, so wird hieraus deutlich, dass das Kraftstoffeinsparpotential bei einem neuen Speicherkatalysator wesentlich größer ist als bei einem alten bzw. gealterten Speicherkatalysator. Dies bedeutet, dass beim neuen Speicherkatalysator auch ein sinnvoller Magerbetrieb noch bei höheren Lastaufnahmen möglich ist als bei einem gealterten Speicherkatalysator. Wie ein Vergleich der beiden Betriebspunkte Z_{alt1} und Z_{neu2} zeigt, wird derselbe Grenzzustand für einen sinnvollen Magerbetrieb bei einem neuen Speicherkatalysator bei einer wesentlich höheren Lastaufnahme erreicht als dies bei einem alten bzw. gealterten Speicherkatalysator der Fall ist.

Bei Betrachtung des Konstantlastfalls 2 in der Fig. 5 stellt eine Speicherkatalysatoralterung von Z_{neu2} in Richtung Z_{alt2} eine solche Verschlechterung des Einsparpotentials dar, so dass kein sinnvoller Magerbetrieb mehr möglich ist und die Motorsteuerung hier bei einer derartigen Lastaufnahme einen Lambdabetrieb der Brennkraftmaschine, bei dem Lambda gleich 1 ist, vorgibt.

In der Fig. 6 ist zudem noch ein Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld über ein Temperaturfenster dargestellt, wobei auf der Abszisse hier die Temperatur in °C aufgetragen ist und die Ordinate hier den Integralwert des Stickoxid-Massenstroms vor dem Speicherkatalysator zeigt. Das heißt, dass das hier dargestellte Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld bezogen auf die Integralwerte des Stickoxid-Massenstroms vor dem Speicherkatalysator dargestellt ist. Grundsätzlich könnte hier aber alternativ auch ein Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld dargestellt sein, das auf die Integralwerte nach dem Stickoxid-Speicherkata-

lysator und/oder auf die Zeit bezogen ist. Die Bezugnahme auf die Integral-
 werte vor dem Stickoxid-Massenstrom ist hier jedoch bevorzugt, da diese im
 Gegensatz zu den auch noch von anderen Faktoren abhängigen Integralwer-
 ten nach dem Speicherkatalysator und der ebenfalls noch von anderen Fak-
 5 toren abhängigen Zeit eine noch zuverlässigere Aussage über den Alterungs-
 zustand des Speicherkatalysators ermöglicht. Wie Fig. 6 zeigt, ist das Spei-
 cherkatalysator-Kapazitätsfeld bezogen auf das Temperaturfenster einerseits
 durch eine vorgegebene Grenzlinie B_{neu} für einen neuen Speicherkatalysator
 und andererseits durch eine vorgebbare Grenzlinie B_{alt} für einen einen Grenz-
 10 alterungszustand darstellenden gealterten Speicherkatalysator begrenzt. Der
 dazwischenliegende, schraffierte Kapazitätsfeldbereich ist ein Maß für die
 Katalysatoralterung. Das Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld ist hinsichtlich des
 Kraftstoffverbrauchs optimiert vorgegeben und durch eine Vielzahl von einzel-
 nen, z. B. messtechnisch ermittelten Betriebspunkten für einen neuen und
 15 einen mehr oder weniger gealterten Speicherkatalysator aufgespannt.

Im hier in der Fig. 6 dargestellten Fall wird ein Integralwert X eines Stickoxid-
 massenstroms vor dem Speicherkatalysator beim Erfüllen der Umschaltbedin-
 gung in Verbindung mit der momentanen Betriebstemperatur zum Umschalt-
 20 zeitpunkt gebracht, die hier beispielsweise 320°C beträgt. Auf diese Weise
 wird im Diagramm der Fig. 6 ein Umschalt-Betriebspunkt U ermittelt, der im in
 der Fig. 6 dargestellten Beispiel im Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld liegt.
 Dieser innerhalb des Speicherkatalysator-Kapazitätsfeldes liegende Umschalt-
 Betriebspunkt stellt keine Unterschreitung der minimalen Stickoxid-Speicher-
 25 fähigkeit dar, so dass z. B. ein i. O-Signal an die Steuer- und/oder Regelein-
 richtung weitergeleitet wird. Die Änderung gegenüber einem vorhergehenden
 Betriebspunkt ausgehend von einem Betriebspunkt U_{neu} eines neuen Stick-
 oxid-Speicherkatalysators stellt, wie dies in Fig. 6 schematisch durch den Pfeil
 1 dargestellt ist, ein Maß für die Speicherkatalysatoralterung dar. D. h. dass
 30 der Integralwert des Stickoxid-Massenstroms vor dem Speicherkatalysator
 beim Regenerieren stets neu erlernt wird. Wenn eine Änderung in Richtung

des Pfeils 1 dergestalt stattgefunden hat, dass ein Betriebspunkt unterhalb eines Grenz-Betriebspunktes U_{alt} liegt, wird ein Unterschreiten der minimalen Stickoxid-Speicherfähigkeit erkannt und ein Fehlersignal im Motorsteuergerät gesetzt.

5

Die Fig. 6 zeigt hier somit, dass zu jedem Betriebszustand des Stickoxid-Speicherkatalysators in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur eine Aussage über den genauen Alterungszustand des Stickoxid-Speicherkatalysators getroffen werden kann. Da die einen Grenzalterungszustand darstellende untere gealterte Speicherkatalysator-Grenzlinie von der Lage her an einen vorgegebenen Kraftstoffverbrauch in Verbindung mit den Entladungen angepasst werden kann, kann daher eine nicht mehr tolerierbare Speicherkatalysator-Alterung bereits zu einem Zeitpunkt angezeigt werden, zu dem sich der Kraftstoffverbrauch noch im vorgegebenen Toleranzrahmen hält.

15

Eine Kombination all dieser Maßnahmen führt daher zu einer besonders vorteilhaften Betriebsmöglichkeit für eine Brennkraftmaschine, und zwar insbesondere im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch und/oder den sinnvollen Magerbetrieb.

20

Ansprüche

5

1. Verfahren zur Steuerung des Magerbetriebs einer einen Stickoxid-Speicherkatalysator aufweisenden Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeuges,

10

bei dem von der Brennkraftmaschine erzeugte Stickoxide in einer ersten Betriebsphase (Magerbetrieb) als Einspeicherphase für eine bestimmte Einspeicherzeit in den Stickoxid-Speicherkatalysator eingespeichert werden, und

15

bei dem nach Ablauf der Einspeicherzeit mittels einer Steuereinrichtung als Motorsteuerung zu einem bestimmten Umschaltzeitpunkt für eine bestimmte Entladezeit auf eine zweite Betriebsphase (Fettbetrieb) als Entladungsphase umgeschaltet wird, in der die während der Einspeicherzeit eingespeicherten Stickoxide aus dem Stickoxid-Speicherkatalysator ausgespeichert werden,

20

wobei der Stickoxid-Massenstrom vor dem Stickoxid-Speicherkatalysator und/oder der Stickoxid-Massenstrom nach dem Stickoxid-Speicherkatalysator jeweils über eine gleiche Zeitdauer aufintegriert werden,

25

dadurch gekennzeichnet,

30

dass in einem ersten Verfahrensschritt zur Festlegung des Umschaltzeitpunktes von der Einspeicherphase auf die Entladephase wenigstens aus dem Integralwert des Stickoxid-Massenstroms vor und/oder nach dem Speicherkatalysator ein Umschalt-Betriebspunkt ermittelt wird, und

dass der jeweilige Umschalt-Betriebspunkt in einem zweiten Verfahrensschritt mit einem vorgebbaren, insbesondere hinsichtlich des Kraftstoffeinsparpotentials optimierten Betriebsfeld als Funktion der Lastaufnahme der Brennkraftmaschine, das durch eine Vielzahl von einzelnen Betriebspunkten für einen neuen und einen gealterten Speicherkatalysator gebildet ist, verglichen wird dergestalt,

dass die Motorsteuerung bei einem innerhalb des Betriebsfeldes liegenden Umschalt-Betriebspunkt den Magerbetrieb und damit das Umschalten zwischen der Einspeicherphase und der Entladungsphase des Stickoxid-Speicherkatalysators freigibt, während die Motorsteuerung bei einem das vorgebbare Betriebsfeld verlassenden Umschalt-Betriebspunkt einen Lambdabetrieb der Brennkraftmaschine, bei dem Lambda gleich 1 ist, vorgibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

dass das Betriebsfeld lastabhängig im wesentlichen durch eine Einsparpotential-Grenzkurve für einen neuen Stickoxid-Speicherkatalysator und durch eine Einsparpotential-Grenzkurve für einen einen Grenzalterungszustand darstellenden gealterten Speicherkatalysator aufgespannt ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

dass zur Festlegung des Umschaltzeitpunktes von der Einspeicherphase auf die Entladephase ein relativer Stickoxid-Schlupf als Differenz zwischen dem in den Stickoxid-Speicherkatalysator eingeströmten Stickoxid-Massenstrom und dem aus dem Stickoxid-Speicherkatalysator ausgeströmten Stickoxid-Massenstrom jeweils bezogen auf die Einspeicherzeit ermittelt wird dergestalt,

dass der Quotient der Integralwerte des Stickoxid-Massenstroms vor und nach dem Stickoxid-Speicher-katalysator zudem in eine Relativbeziehung mit einem vorgebbaren, von einem Abgasgrenzwert abgeleiteten Stickoxid-Konvertierungsgrad gebracht wird, so dass beim Vorliegen dieser vorgegebenen Umschaltbedingungen im Falle eines innerhalb des Betriebsfeldes liegenden Umschalt-Betriebspunktes das Umschalten von der Einspeicherphase (Magerbetrieb) auf die Entladephase (Fettbetrieb) zum hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Einspeicherpotential optimierten Umschaltzeitpunkt durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

dass der relative Schlupf der Quotient aus dem Integral über den Stickoxid-Massenstrom nach dem Stickoxid-Speicher-katalysator und aus dem Integral über den Stickoxid-Massenstrom vor dem Stickoxid-Speicher-katalysators ist, und

dass dieser Quotient zur Ermittlung der Umschaltbedingung gleich einem vorgebbaren Umschaltschwellwert K gesetzt wird, der auf den vorgebbaren Stickoxid-Konvertierungsgrad zurückgeht, so dass beim Erfüllen dieser Umschaltbedingung ein Umschalten von der Einspeicherphase am Ende der somit ermittelten Einspeicherzeit auf die Entladungsphase erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

dass der Umschaltschwellwert K folgender Gleichung genügt:

$$K = 1 - \text{vorgegebene Stickoxidkonvertierungsrate}$$

mit einer vorgegebenen Stickoxid-Konvertierungsrate von kleiner 1, vorzugsweise mit einer vorgegebenen Stickoxid-Konvertierungsrate von wenigstens 0,80, höchst bevorzugt von 0,95.

- 5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des Alterungsgrades des Speicherkatalysators aus dem Integralwert des Stickoxid-Massenstroms vor und/oder nach dem Speicherkatalysator und/oder dem Umschaltzeitpunkt jeweils beim Erfüllen der Umschaltbedingung zudem der Umschalt-Betriebspunkt als Funktion einer momentanen Betriebstemperatur zum Umschaltzeitpunkt ermittelt wird, und

- 10
15 dass der jeweilige Umschalt-Betriebspunkt in einer zweiten Stufe zur Ermittlung des Alterungsgrades des Speicherkatalysators mit einem über ein Temperaturfenster verlaufenden, vorgebbaren, insbesondere hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs optimierten Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld, das durch eine Vielzahl von einzelnen Betriebspunkten für einen neuen und einen gealterten Speicherkatalysator gebildet ist, verglichen wird dergestalt,

- 20
25 dass ein innerhalb des Speicherkatalysator-Kapazitätsfeldes liegender Umschalt-Betriebspunkt keine Unterschreitung der minimalen Stickoxid-Speicherfähigkeit darstellt, sondern die Änderung gegenüber dem vorherigen Betriebspunkt als Maß für die Speicherkatalysator-Alterung darstellt, und

- 30 dass ein das Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld verlassender Umschalt-Betriebspunkt eine Unterschreitung der minimalen Stickoxid-Speicherfähigkeit darstellt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

5 dass das Speicherkatalysator-Kapazitätsfeld bezogen auf das Temperaturfenster einerseits durch eine Grenzlinie für einen neuen Speicherkatalysator und andererseits durch eine Grenzlinie für einen einen Grenzalterungszustand darstellenden gealterten Speicherkatalysator begrenzt ist.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet,

10 dass das Temperaturfenster Temperaturwerte zwischen in etwa 200°C und in etwa 450°C umfasst.

9. Verfahren nach einem, der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet,

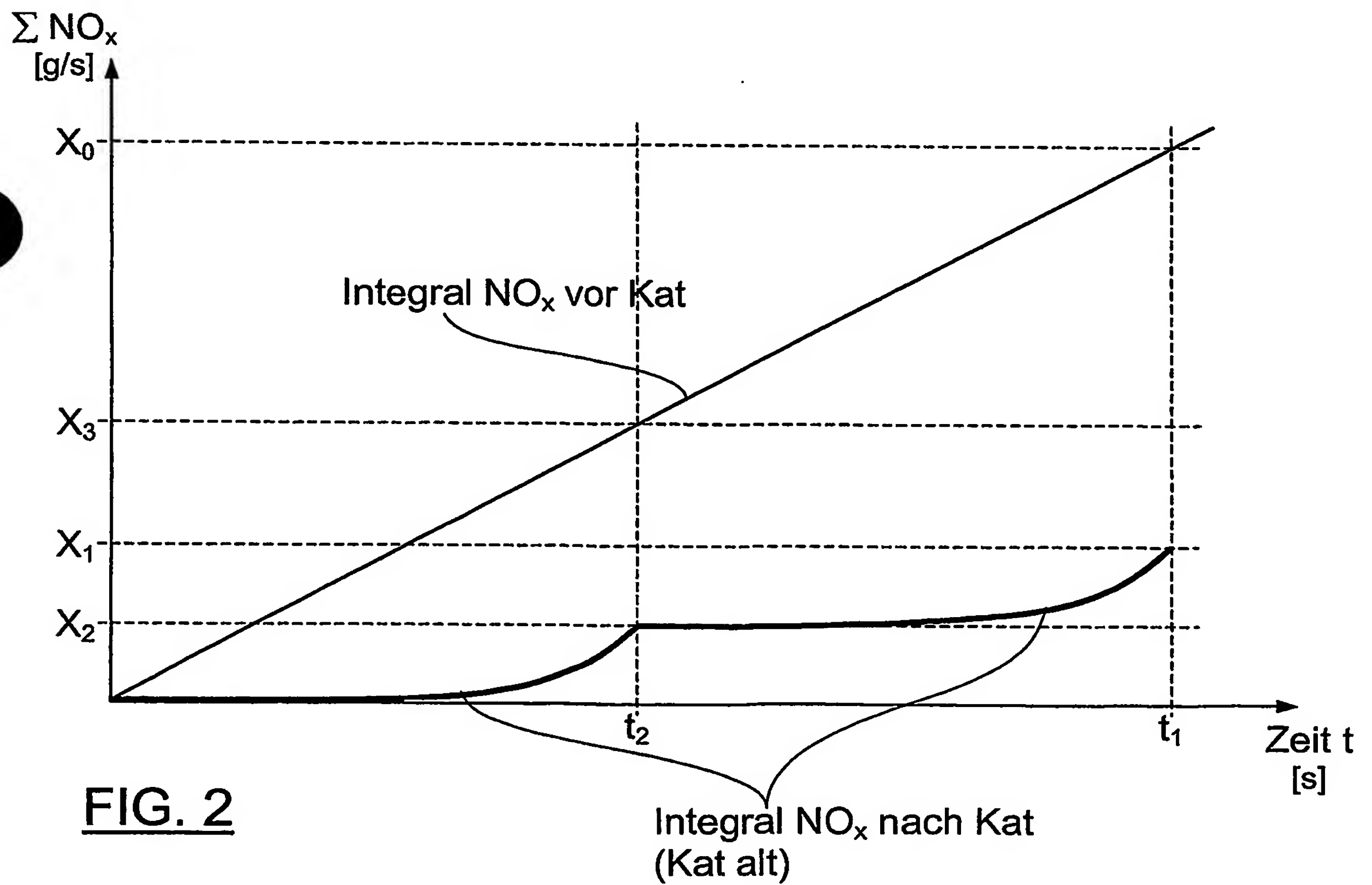
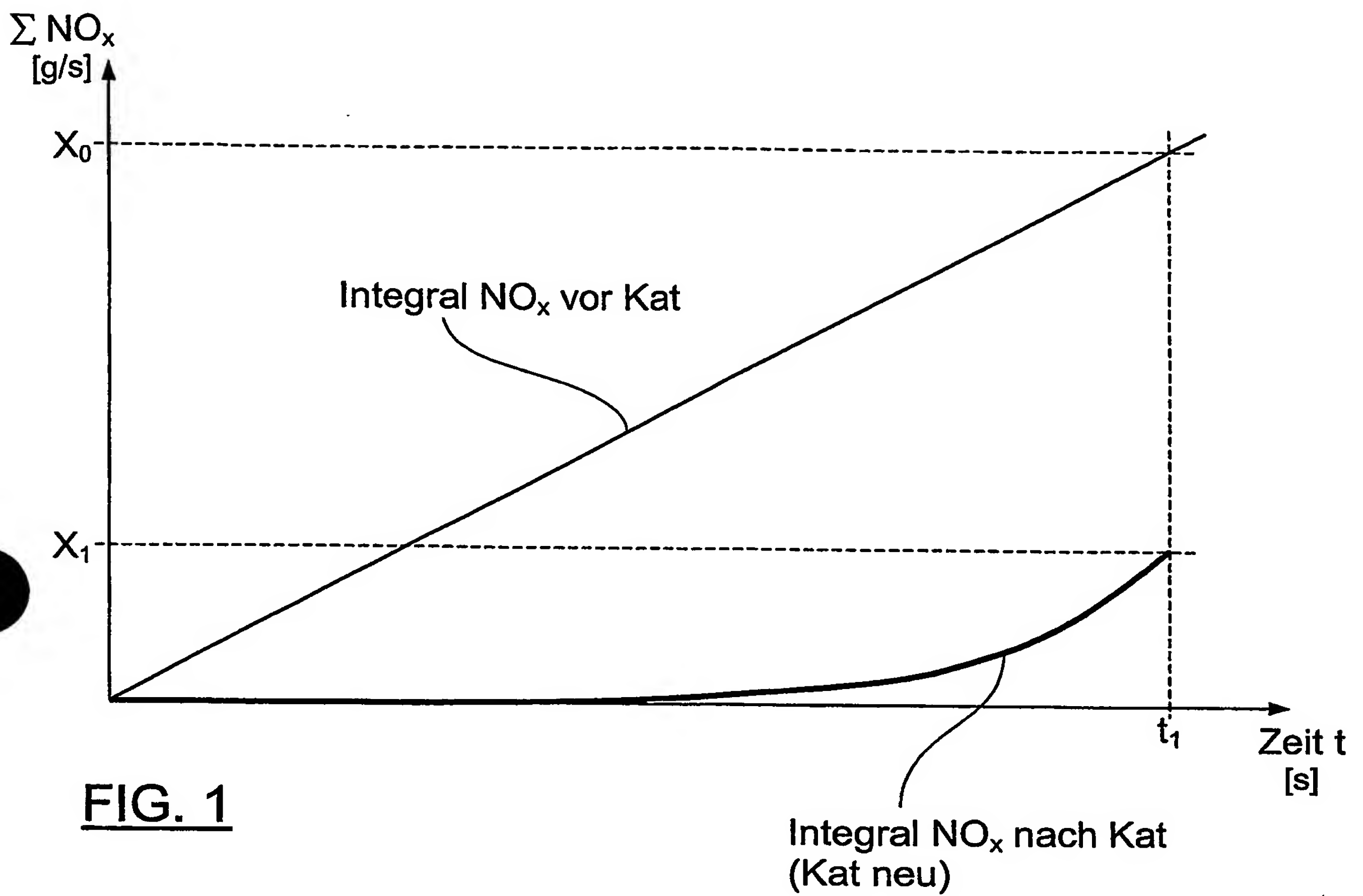
15 dass bei der Unterschreitung der minimalen Stickoxid-Speicherfähigkeit ein Fehlersignal im Motorsteuergerät gesetzt wird.

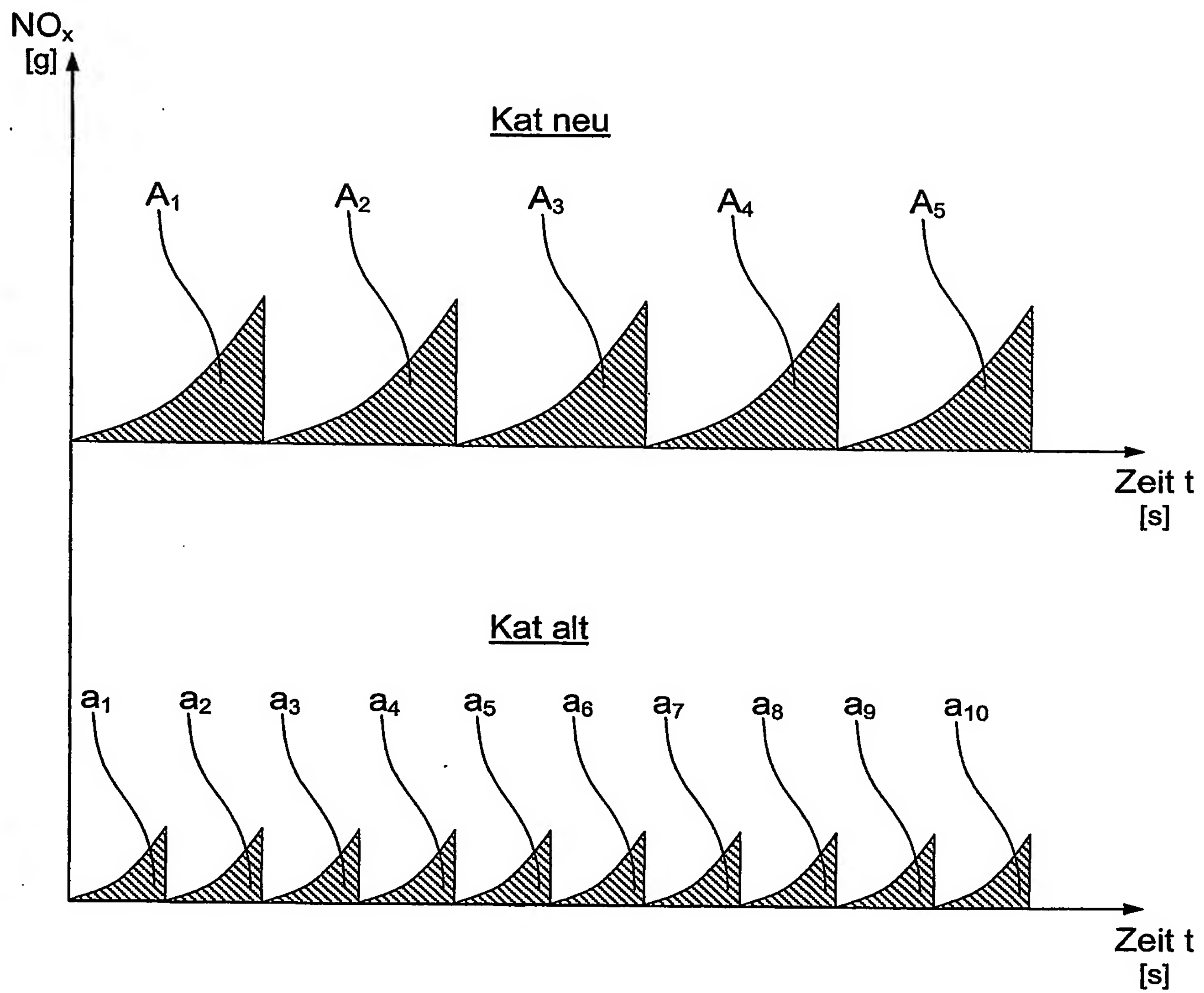
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet,

20 dass der Stickoxid-Massenstrom vor dem Stickoxid-Speicherkatalysator modelliert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet,

25 dass der Stickoxid-Massenstrom nach dem Stickoxid-Speicherkatalysator mittels einem Stickoxid-Sensor gemessen wird.



FIG. 3

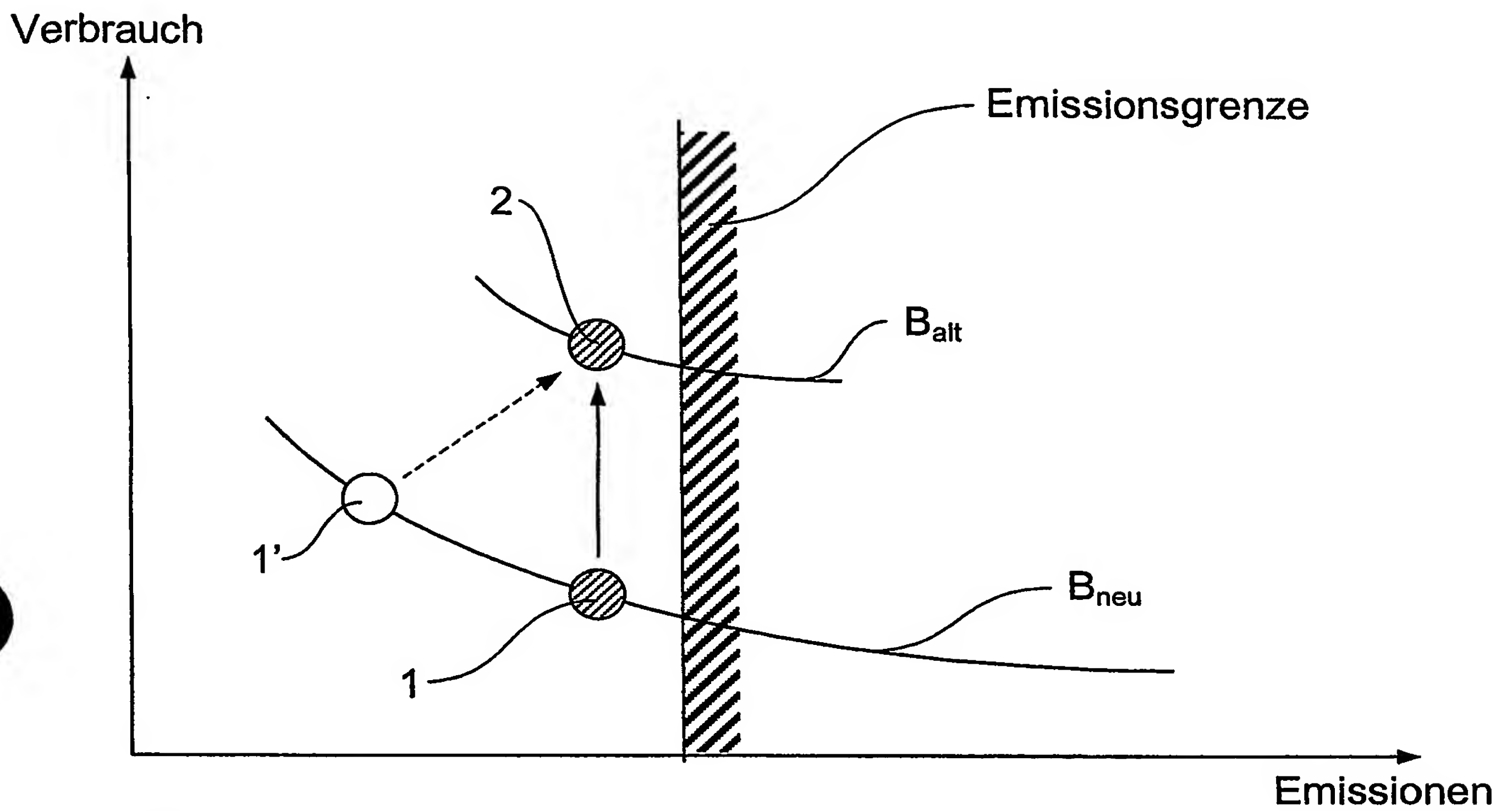


FIG. 4

a) NO_x -Emissionen
b) Einsparpotential

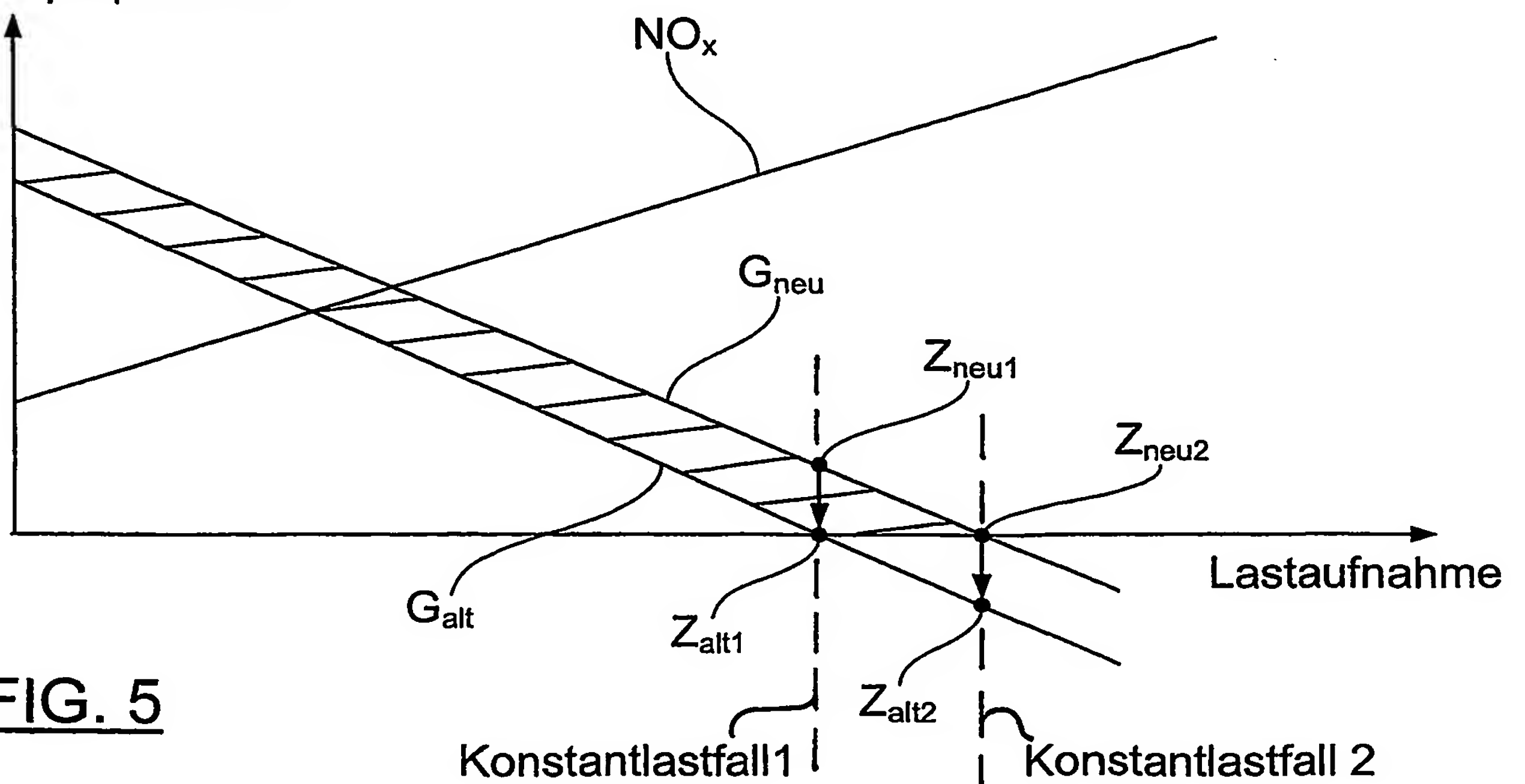
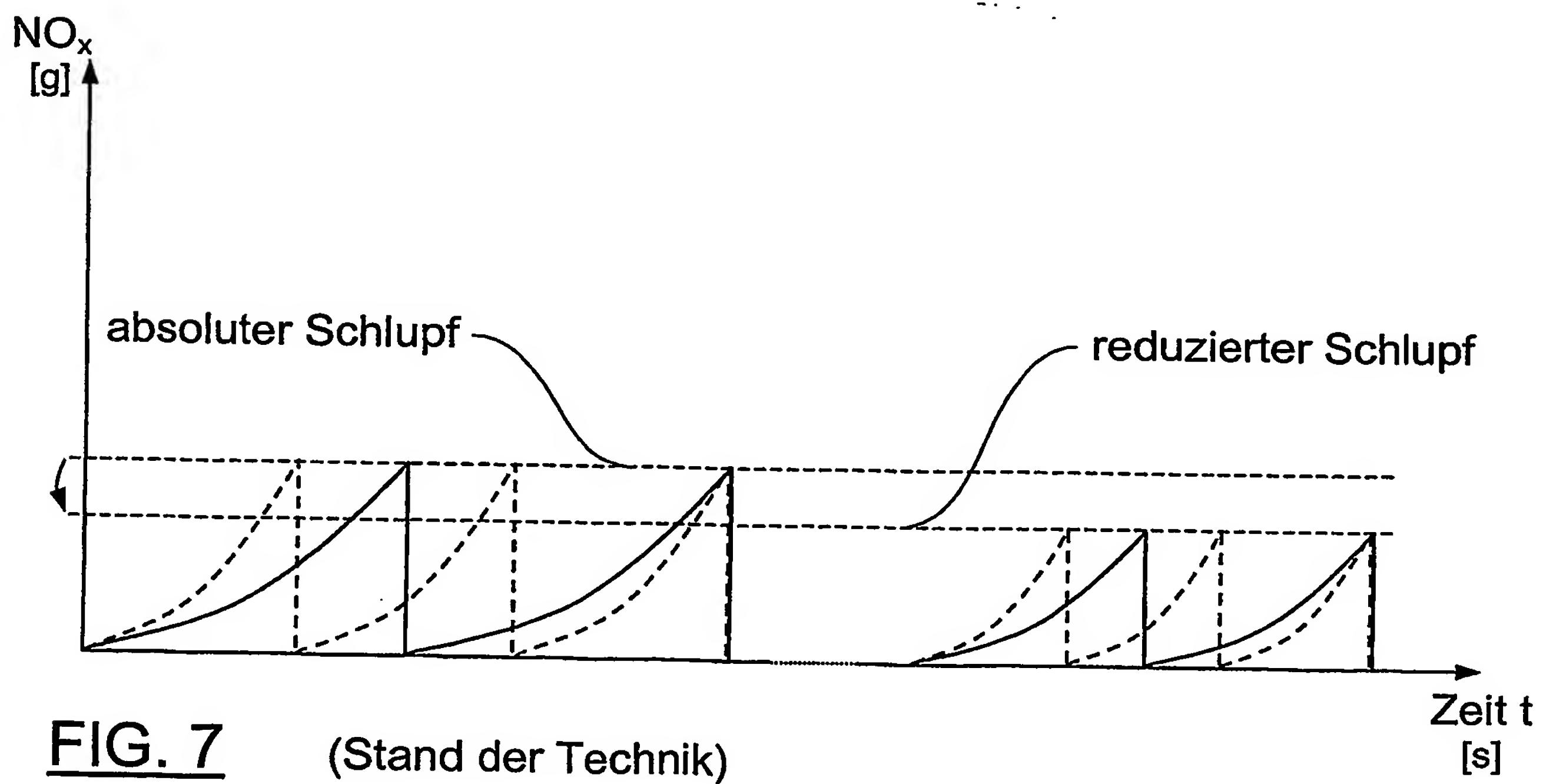
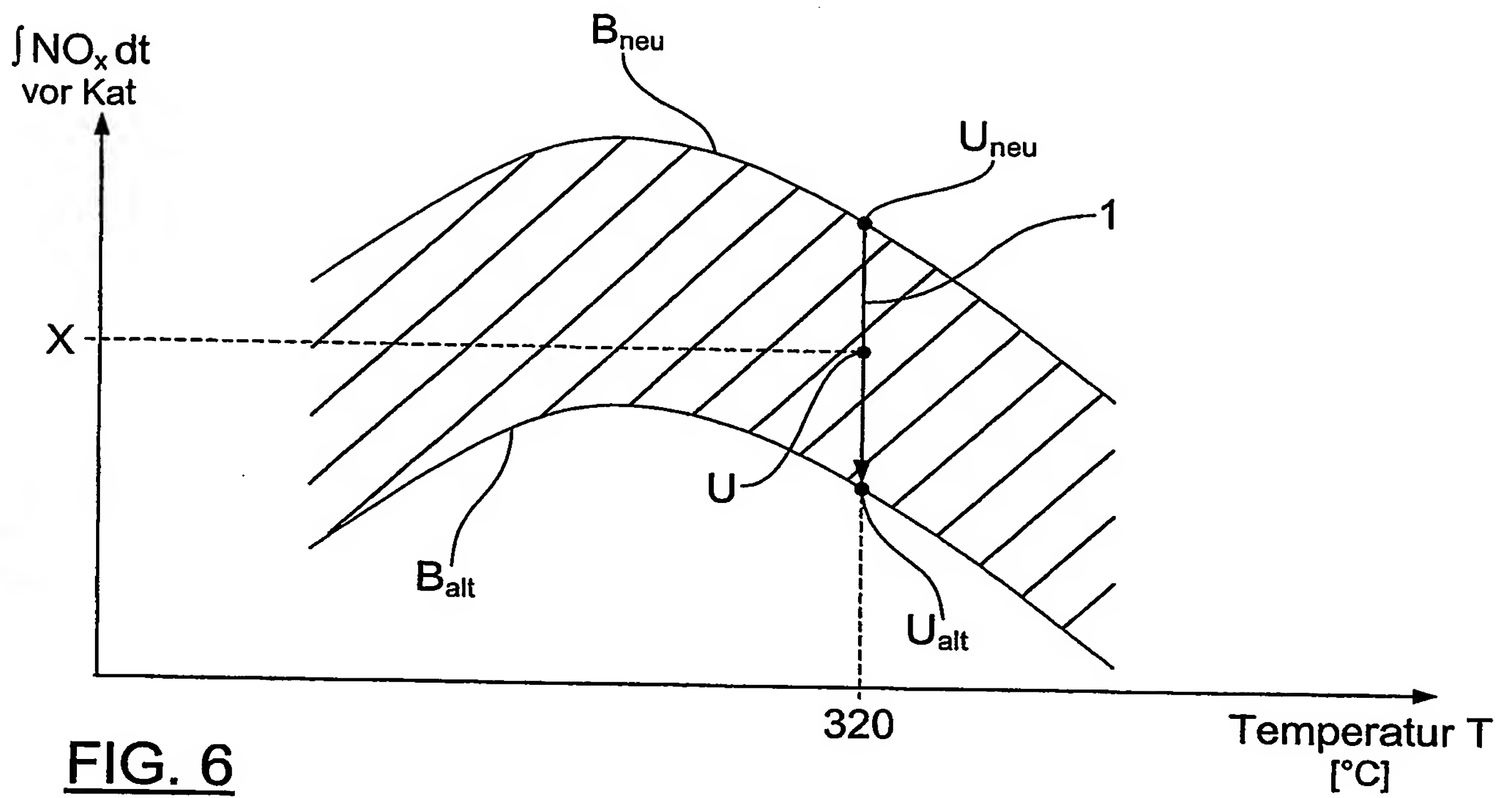


FIG. 5



Zusammenfassung

5

Verfahren zur Steuerung des Magerbetriebs einer einen Stickoxid-Speicher-
katalysator aufweisenden Brennkraftmaschine, insbesondere eines
Kraftfahrzeuges

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung des Magerbetriebs einer
einen Stickoxid-Speicher-
katalysator aufweisenden Brennkraftmaschine insbe-
sondere eines Kraftfahrzeuges. Erfindungsgemäß wird in einem ersten Verfah-
rensschritt zur Festlegung des Umschaltzeitpunktes von der Einspeicherphase
15 auf die Entladephase wenigstens aus dem Integralwert des Stickoxid-Massen-
stroms vor und/oder nach dem Speicher-
katalysator ein Umschalt-Betriebs-
punkt ermittelt. Der jeweilige Umschalt-Betriebspunkt wird in einem zweiten
Verfahrensschritt mit einem vorgebbaren, insbesondere hinsichtlich des Kraft-
stoffeinsparpotentials optimierten Betriebsfeld als Funktion der Lastaufnahme
20 der Brennkraftmaschine, das durch eine Vielzahl von einzelnen Betriebspunkten
für einen neuen und einen gealterten Speicher-
katalysator gebildet ist, vergli-
chen, wobei die Motorsteuerung bei einem innerhalb des Betriebsfeldes lie-
gendem Umschalt-Betriebspunkt den Magerbetrieb und damit das Umschalten
25 zwischen der Einspeicherphase und der Entladungsphase des Stickoxid-Spei-
cher-
katalysators freigibt, während die Motorsteuerung bei einem das vorgeb-
bare Betriebsfeld verlassenden Umschalt-Betriebspunkt einen Lambdabetrieb
der Brennkraftmaschine, bei dem Lambda gleich 1 ist, vorgibt.

30 Fig. 5

a) NO_x-Emissionen
b) Einsparpotential

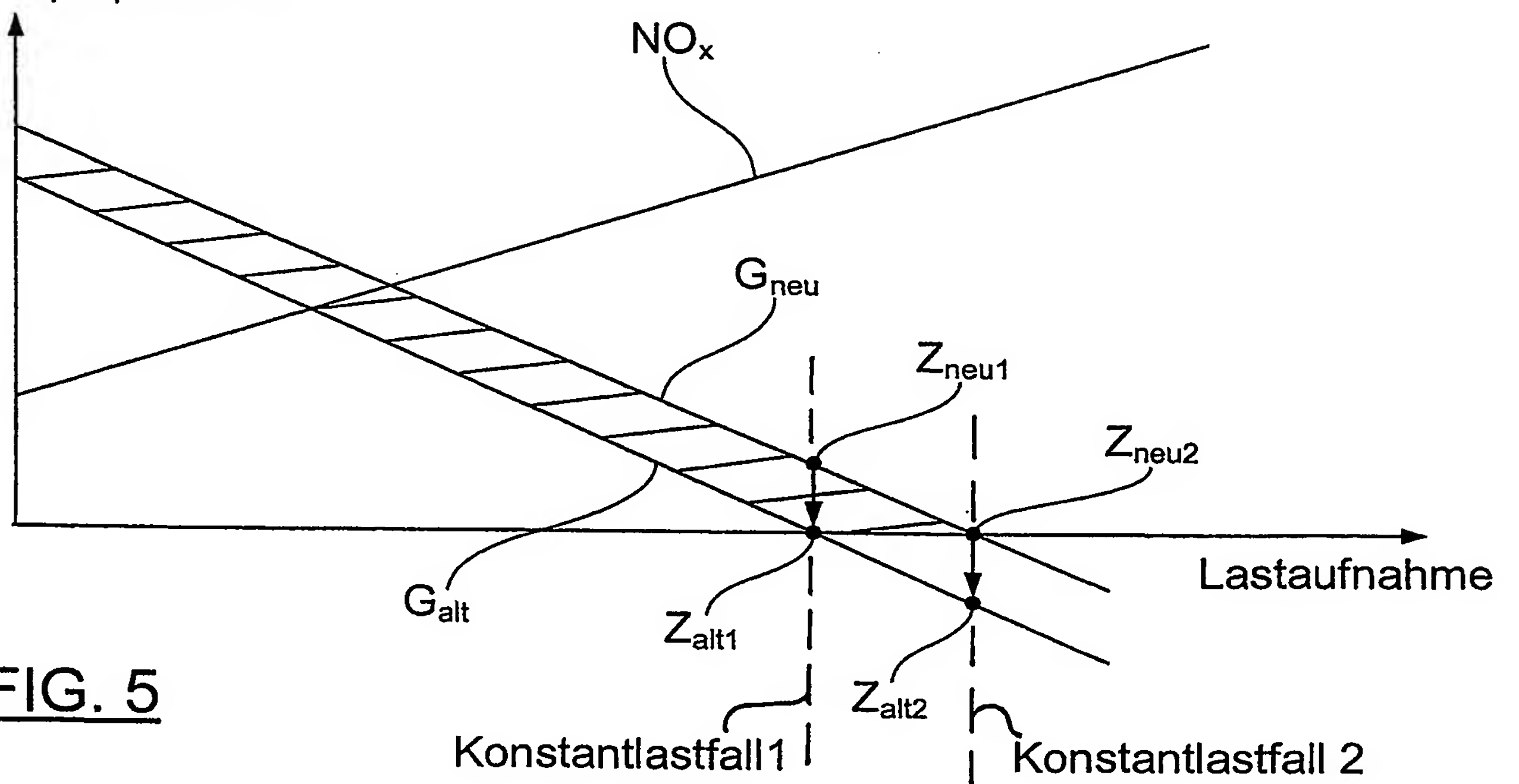


FIG. 5